

Dr. Óvári Gyula* – Fehér Krisztina**

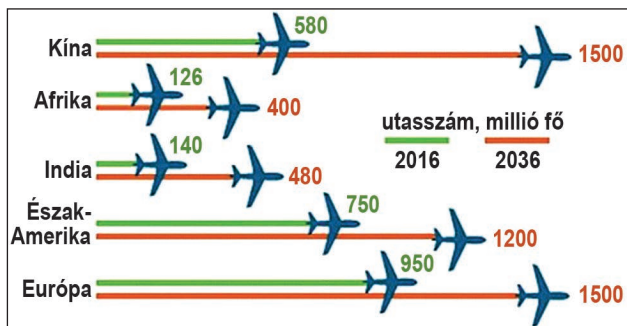
Repülőgépek elektromos meghajtása – szükségyszerűség kompromisszumokkal

II. rész

A tanulmány első része a repülőeszközök működtetéséhez alkalmazott energiahordozók kitermelési adatait elemezte, majd felvázolta a világ országainak jelenlegi és az elkövetkező évtizedekre vetített kőolajsükségletét. A szerzők megvizsgálták a repülés hatását a környezetre, és az adatokat összevetették más környezet-, illetve klímakárosító tevékenységekkel. A második rész rávilágít a dinamikusan növekvő légi forgalom és a környezetvédelmi szabályozás ellentmondásaira, valamint magyarázatot ad az alternatív energia bevezetésének kényeszerű lassulására. Végül a tanulmány a 2050-ig tartó időszak fejlődési irányait vázolja fel.

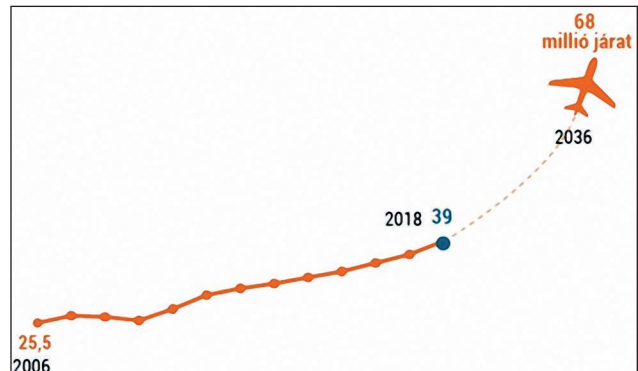
A DINAMIKUSAN NÖVEKVŐ LÉGI FORGALOM ÉS A KÖRNYEZETVÉDELMI SZABÁLYOZÁS ELLENTMONDÁSAI

Az előrejelzések szerint – minden indokolt és sürgető környezetvédelmi megfontolás ellenére – az elkövetkező 2-3 évtized intenzív népességnövekedése miatt a légi forgalom Földünk valamennyi régiójában dinamikusan tovább növekszik (12. ábra).



12. ábra. Földünk légi forgalmának várható növekedése 2016–2036 között

A fenti igény folyamatos biztosítására gyakorlatilag valamennyi – a 2020-as koronavírus-járványig mértékadónak elfogadott – szakmai prognózis egybehangozón a hagyományos repülőgépek további nagyszámú építésével, felújításával számol. Ennek során minden típusnál meghatározó követelmény az üzemanyag-fogyasztás és a környezetkárosítás érdemi csökkentése, amely ugyan teljesül a megjelenő új típusok esetében, az elért eredményeket azonban teljes mértékben anulálja a légijármű-park nagymérvű, számszerű gyarapodása. Az előrejelzések szerint – elsősorban a keleti gazdaság fellendülése miatt – 2037-re a repülési ágazat elérheti a 8,2 milliárdos éves utasforgalmat



13. ábra. A légi járatok számának növekedése a 2006–2036 közötti időszakban (Forrás: HVG)

(amely 3,5%-os éves növekedést jelent). Várhatóan az ázsiai és a csendes-óceániai régióban következik be a legnagyobb növekedés a következő 20 évben, és az új utasok több mint fele is innen származhat. Mindez szükségessé teszi a légi forgalom folyamatos növelését az elkövetkező években. Ezért 2036-ban már – a 2006-os napi 70 000-hez képest – várhatóan 184 000 szállító repülőgép lesz a levegőben, így szükségszerűen ugyanezen időszak alatt, éves viszonylatban a járatszámok is hasonló ütemben növekednek majd (13. ábra).

A járatszámok 20 év alatt bekövetkező, több mint 160%-os emelkedésének prognosztizálható következményei közül szem előtt kell tartanunk:

- *kedvező*, hogy várhatóan 100 millió új munkahelyet teremt,
- *kedvezőtlen*, hogy ez alatt a nemzetközi légi közlekedés tüzelőanyag-felhasználása a 2010-es szinthez képest 2,8–3,9-szeresére nő.

Természetesen a jelenlegi, de döntően a várható globális légszennyezés ismeretében, már a 2013-as ICAO (Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet) közgyűlése elfogadta azt a határozatot (A38-18), amelynek deklarált célkitűzése, hogy az ICAO és tagállamai – az érintett szervezetekkel együttműködve – törekedjenek a nemzetközi légi közlekedés globális nettó szén-dioxid-kibocsátásának 2020-as szinten történő befagyasztására. (A program neve *Carbon Neutral Growth from 2020 – Szén-dioxid-semleges növekedés 2020-tól*).

A 2015 decemberében Párizsban megtartott klímakonferencián (COP21) a résztvevő államok vállalták, hogy (az ipari forradalomtól 2100-ig terjedő időszakban mért) a globális átlaghőmérséklet-emelkedés 2 °C alatt tartása érdekében 2050-ig a CO₂-kibocsátást egyensúlyba hozzák a természet üvegházhatású gázokat megkötő képességével.

* Egyetemi tanár, NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék. ORCID: 0000-0002-9876-6760

** Tanársegéd, NKE Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Repülő Sárkány-hajtómű Tanszék. ORCID: 0000-0002-5057-733X

(Azaz a kibocsátást olyan szintre csökkentik, amelyet a természeti folyamatok meg tudnak kötni, így lényegében karbonsemleges globális gazdaság jöhetne létre.) A cél elérése érdekében a fejlett gazdasággal rendelkező államok 100 milliárd dollár támogatást biztosítanak a fejlődő államok részére. A kitűzött célok teljesülését öt évente vizsgálják felül.

Ezt követően 2016-ban, több mint 70 ország képviselőjének aláírásával született egy, a klímaegyezményektől független, önkéntes alapon működő megállapodás a 2020 utáni repülés okozta nettó emisszió növekedés megakadályozása érdekében. Így, bár a növekvő számú légi jármű egyre több szén-dioxidot bocsát ki, de a légitársaságoknak – az iparosított országokhoz hasonlóan – kötelező lesz kibocsátási kvótákat vásárolniuk. Kedvezőtlen, hogy ezt a megállapodást CORSIA-nak (Carbon Offsetting and Reduction Scheme of International Aviation – a nemzetközi légi közlekedés kibocsátás-kompenzációra és a kibocsátás-csökkentésre vonatkozó rendszere) rövidített megállapodást:

- Kína – ahol a közeljövőben a légi utasforgalom robbanásszerű növekedését várják – nem írta alá,
- az Európai Unió nem tartja elég szigorúnak a korlátozást, formálisan ellenezi azt,
- a CORSIA csak a nemzetközi légi forgalomra, és ezen belül is kizárólag a merevszárnyú légi járművekre vonatkozik, de a katonai repülést nem érinti.

A programban részt vevő vállalatok a szén-dioxid-kibocsátásuk kompenzálására a szén-dioxid-piacon ún. karbonkrediteket (Carbon Creditek) vásárolnak. A folyamat fontosabb elemei:

- a légitársaságok, vagy a repülőgép(ek) üzemeltetői követik és rögzítik a szén-dioxid-kibocsátásukat (minden tonna elégetett tüzelőanyag egységében 3,06 tonna szén-dioxid-kibocsátást jelent);
- a légitársaságok az ellenőrzött és független ellenőrző szervezetek által is jóváhagyott kibocsátási jelentéseiket benyújtják az országuk illetékes kormányzati szerveihez, amelyek az ICAO-val egyeztetve értesítik az adott légitársaságot, mekkora mennyiségű szén-dioxid-kibocsátást kell ellentételezniük. Az összeggel a világ bármely pontján klímaprojektek (energiahatékonysági megoldások, megújulóenergia-kutatás, erdőtelepítés stb.) támogathatnak. E projekteknek nemzetközi szabályozóknak megfelelően kell bizonyítaniuk a tényleges szén-dioxid-kibocsátást csökkentő hatásukat;
- egy tonna szén-dioxid-kibocsátás „megtakarítás” egy szén-dioxid ellentételezési egységnek, karbonkreditnek felel meg, amit a szén-dioxid piacon (Carbon Market) független közvetítők (brókerek, bankok) közreműködésével forgalmaznak. A légitársaságok kibocsátásuk és megtakarításuk különbözetét megfelelő mennyiségű karbonkredit megvásárlásával kompenzálhatják, amelyet felhasználhatnak plusz széndioxid-kibocsátásuk ellentételezésére;
- a szén-dioxid-semleges növekedés abban az esetben valósul meg, amennyiben a légitársaságok által megvásárolt karbonkrediteket lefedik a nemzetközi légi közlekedés 2020-as bázisszéndioxid-kibocsátásához képest létrejövő növekményt.

Mindezek mellett meghatározó fontosságú az alternatív és megújuló energiák (bio-, nap-, elektromos, nukleáris energia stb.) repülésben történő tényleges, széleskörű gyakorlati alkalmazását lehetővé tévő megoldások további folyamatos és intenzív kutatása.

A Föld országai napjainkban valamivel több, mint 26 000 db, különböző típusú és korú (köztük számos vadonatúj) hagyományos, belső égésű erőgépekkel meghajtott polgári

repülőgépet működtetnek, amelyeknél nem sokkal kevesebb a katonai légijármű-park állománya sem.

A megismert szállítási igény növekedés kielégítésére, 2010 után a legnagyobb repülőgépgyártók, átfogó kutatásaik alapján meglehetősen egybehangzó, napjainkig reálisnak tekintett prognózisokat készítettek az előttük álló két évtizedre várhatóan igényelt és eladható légi járművek mennyiségéről, illetve ezen belül a számításba vehető kategóriákról. Ezekben a tervezett programokban az is közös, hogy a szigorodó előírásokra tekintettel javuló minőségű, kisebb fogyasztású, kevésbé környezetszennyező, de – tényleges alternatíva hiányában – hagyományos, belső égésű motorral meghajtott légi járművek építésével számolnak:

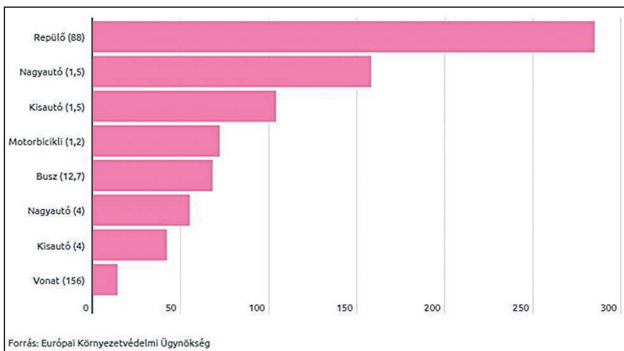
- a Boeing repülőgépgyártó vállalat átfogó vizsgálatai szerint 2014–2034 között, világviszonylatban 36 000 repülőgép megépítésére lesz igény, amely 5200 milliárd USD-os piacot jelent. Előrejelzésük szerint a legtöbb új repülőgépet a Kínát is magába foglaló ázsiai-óceániai térség igényli, ahol a következő húsz évben 13 000 repülőeszköz állhat forgalomba. Emellett előrehaladott szuperszonikus és hiperszonikus utasszállító repülőgép-fejlesztést is folytatnak. (E tervek készítésekor még nem volt ismert a 2018-ban és '19-ben történt Boeing-737MAX katasztrófák következtében a típus földre kényszerülése, majd emiatt a számottevő megrendeléstörlesztés okozta kényszerű gyártáskapacitás-csökkentés.)
- az orosz Egyesült Repülőgépgyártó Vállalat (Объединенная Авиастроительная Корпорация – OAK) 2017-ben kiadott prognózisa 2040-ig mintegy 41 800 darab új repülőgép megépítését tartja szükségesnek, 2017-es áron 5700 milliárd USD piaci értékben.
- az Airbus 2038-ig összesen 39 000 új repülőgépre lát igényt, amely a jelenlegi szolgálatban álló flotta több, mint kétszerese lehet. Átlagosan 4,3%-os éves forgalombővüléssel számoltak. Ez alapján a jelenlegi mintegy 23 ezer légi járművet számláló aktív flotta 48 000-re bővíülhet, amiből 39 000 vadonatúj beszerzés, 8700 pedig ma is meglévő repülőgép lesz.

Megállapítások:

- A fent említett géptípusok közül – hosszú műszaki és/vagy naptári üzemidejük miatt – sok várhatóan repülni fog még a 2060–2070-es években is;
- előrejelzések szerint mindehhez 550 000 (a Boeing szerint 2038-ig 645 000) új pilótát és 640 000 műszaki dolgozót kell a légi közlekedési iparágban felvenni;
- az igények növekedése azonban szükségszerűen a repülőterek kapacitásbővítését is igényli. Az Eurocontrol szerint 111 repülőtér átlagosan 16%-os bővítést tervez, amelyből a 20 legnagyobb repülőtér 28%-os kapacitásfejlesztést kíván végrehajtani. Az EU 17 tagországában – visszafogott forgalomfejlődéssel számolva is – 1,5 millió repüléssel többre lesz igény, mint amennyit jelenleg képes kiszolgálni, és mindez 160 millió utast érint.

A jelenlegi és a közeljövőben alkalmazott repülőeszközök környezetszennyezése lehetséges mértékű korlátozásának kikényszerítését esetenként a szokásjogban gyökerező szabályozási ellentmondások, anakronizmusok is késleltetik (amit a légitársaságok természetesen igyekeztek fenntartani). Ilyenek például:

- a légitársaságok a kerozin után nem fizetnek forgalmi adót, amely eleve árelőny számukra a többi közlekedési ágazathoz képest;
- a légi forgalom egységnyi (pl. utaskilométerenkénti) szén-dioxid-kibocsátása ugyan kétszerese a személygépkocsikénak, nyolcszorosa a távolsági au-



14. ábra. Különböző közlekedési ágazatok CO₂-kibocsátása (utaskilométerenként, grammal) (Forrás: Európai Környezetvédelmi Ügynökség)

többszöröse és akár több mint harmincszorosa is lehet a vasútnak (14. ábra). A legtöbb országban, uniós szabályozás alapján – a kerozinra mégsem vehetnek ki jövedéki és/vagy ásványolajadót;

- a nemzetközi repülőjegyek is forgalmiadó-mentesek;
- a nemzetközi repülés (illetve hajóforgalom) szabályozásának további anomáliája, hogy jelenleg még nem érvényesek rá a klímaegyezmények kötelező érvényű, üvegházhatást okozó gázkibocsátásra vonatkozó rendelkezései. Az országok között, de különösen a nemzetközi vizek felett közlekedő repülőgépek emissziójáról ugyanis nem egyértelmű, hogy melyik ország kvótájába sorolható (az indulási, a célországéba, vagy amelyik fölött éppen repül). A belföldi járatok esetében ez a besorolás a kiotói egyezmény alapján szabályozott, de ezek hatása lényegesen kisebb a nemzetközi desztinációkénál.

Az EU a 2050-re elérni kívánt karbonsemlegesség biztosítására, a közlekedési koncepciójában célul tűzte ki az egységes kerozinadó bevezetését, amelyhez az új összetételű Európai Bizottságnak, ötéves megbízatása alatt meg kell hoznia a szükséges döntéseket. Ez a követelmény nem független a Nyugat-Európában, különösen a skandináv államokban felerősödött – döntően rövid és középtávú (1500 km-ig) – repülőutak elleni civil környezetvédő mozgalmak hatásától. Az Európai Uniónak már 5 országa, (Ausztria, Franciaország, Németország, Olaszország, Svédország) valamint az Egyesült Királyság vezetett be valamilyen légi közlekedési adót. A Természetvédelmi Világalap (WWF) ezért egy olyan, egész Európára érvényes, öt éven belül teljesítendő fenntarthatósági egyezmény elfogadását sürgeti, amely konkrét célokat meghatározva integrálja a klímaváltozás, a természetvédelem és a fenntartható fejlődés szempontrendszerét, illetve követelményeit.

AZ ALTERNATÍV ENERGIA BEVEZETÉSÉNEK KÉNYSZERŰ LASSULÁSA

Ma már vitán felül áll, hogy a nyersanyagforrások elapadása és az okozott környezetkárosítás miatt elkerülhetetlen a fosszilis energiahordozók mielőbbi kiváltása károsanyag-kibocsátás-mentes alternatív üzemanyaggal. E cél megvalósítására világszerte hosszú évek óta ígéretes kutatás-fejlesztési projektek futnak, de jelenleg a gyakorlatban még tömegesen alkalmazható megoldás nem ismert. Az is egyértelmű, hogy amennyiben ez megvalósul, az új eszközöket gyártó cégek számára az energiaellátó infrastruktúra, az üzemeltető, valamint a javító-karbantartó kapacitás létrehozása, továbbá a működtetéséhez szükséges több tízmilliós képzett humán erőforrás biztosítása hosszú ideig tartó és költségigényes feladat lesz.

A legalább még 30–40 évig működő hagyományos légi jármű-park jelentős energiaigénye, illetve a kitermelhető kőolaj mennyiségének 10–20 éven belül bekövetkező csökkenése már napjainkban is szükségessé teszi a hajtóművek működtetéséhez szükséges fosszilis eredetű benzin, kerozin felhasználási hányadának csökkentését. Tapasztalatok szerint a szintetikus, illetve bioüzemanyagok a környezetet kevésbé károsító üzemeltetést tesznek lehetővé, mivel égéstermékeik károsanyag-tartalma alacsonyabb, mint a keroziné, a benziné, de főként a gázolajé.

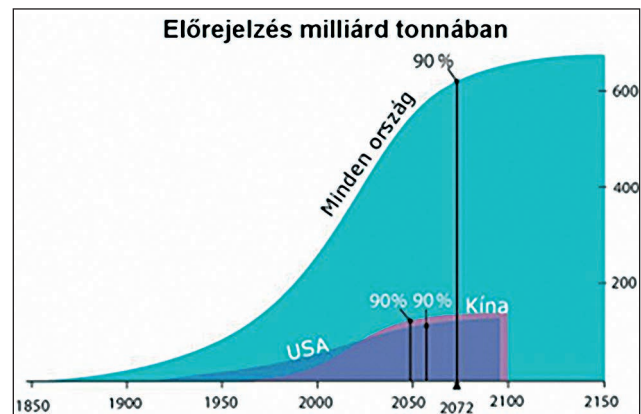
A repülőipari nagyhatalmakon (Oroszország, USA) kívül, a szintetikus és alternatív üzemanyagok kutatás-fejlesztése a közel-keleti olajkitermelő országokban is zajlik. Utóbbiaknál természetesen nem a kerozin maradéktalan kiváltása, hanem a hozzájuk lehetőleg magas arányban keverhető (adalékolható) szintetikus összetevők kutatása és létrehozása kapott prioritást, ezzel is biztosítva saját maguk számára a minél tovább fenntartható kőolajkitermelést és értékesítést.

A szénből készült folyékony szintetikus üzemanyag (CTL – Coal to Liquids) előállítása a második világháború előtt Németországban kezdődött, majd az 1960-as években, az apartheid miatt a kereskedelmi bojkottal sújtott Dél-afrikai Köztársaságban folytatódott, technológiafejlesztéssel társulva. Napjaink környezetvédelmi előírásai és a fogyóban lévő ásványkincsek készletek ismét szükségessé tették e – korábbi kényszerzsilute – eljárás felélesztését, korszerűsítését, különösen, hogy 50–60 USD/barrel feletti kőolajárak mellett a kitermelés már nyereségesé válik. Napjainkban már földgázból is készül szintetikus tüzelőanyag, az ún. GTL (Gas to Liquids).

A hagyományos, belső égésű hajtóművekkel épített repülőeszközök és technológia fenntartásában a nagy szén-, illetve gázvagyonnal rendelkező országok (pl. Kína, Oroszország, USA, Dél-Afrika stb.) az ásványkincsek kitermelhetőségéig jelenleg is érdekeltek. Természetesen a kőolajhoz hasonlóan, a kitermelhető szén- és gázmennyiség is véges. Ez akkor is igaz, ha egyes prognózisok azt feltételezik, hogy e készletek lényegesen bővíthetnek, amennyiben a jelenleg nehezen hozzáférhető rétegek új technológiákkal valamikor majd egyszerűbben és gazdaságosabban felszínre hozhatóvá válnak. A szén esetében azonban, a régóta üzemelő bányák kitermelési és értékesítési adatai a feltételezés helyességét nem igazolják.

A Kaliforniai Műszaki Egyetem (Caltech) kutatási eredményei azt mutatják, hogy a szénkitermelés növelhető, és képes a mind nagyobb szükségletek kielégítésére akár valamivel az évszázad végén túlnyúlóan is. Azonban a két

15. ábra. A Föld szénkitermelésének várható alakulása (milliárd tonnában) (Forrás: Scientific American)



nagy kitermelő (USA és Kína) részvételét is figyelembe véve, 2072-re már csak a jelenleg rendelkezésre álló szén-készlet 10%-a marad hozzáférhető (15. ábra).

A kőolajból előállított benzin- és kerozinfelhasználás csökkentésére, kiváltására másik lehetőség a *bioüzemanyagok* (Biomass to Liquid – BTL) alkalmazása, amelyeket az ún. biomasszából állítanak elő, és jelenleg két fő csoportjuk ismert: a *biodízel* és a *bioetanol*. Ezek alapanyagai magas cukor-, cellulóz-, keményítő- vagy olajtartalmú növények, de létezik algából és faggyúból előállított változat is Bio-SPK (Bio Derived Synthetic Paraffinic Kerosene) elnevezéssel, illetve újabban a halfeldolgozás hulladék anyagaiból is előállítanak biodízelt.

A nagy légitársaságok már több alkalmazott repülőgép típusukon megkezdték a fosszilis eredetű kerozin-bioüzemanyag keverékekkel történő üzemeltetést.

A polgári légitársaságokon kívül az USAF is megvizsgálta a bioüzemanyagok alkalmazási lehetőségeit. 2014-ben sikeres tesztrepüléseket végeztek UH-60A Black Hawk és CH-47 Chinook típusú helikopterekkel, amelyeket emberi fogyasztásra alkalmatlan kukoricából készített üzemanyaggal töltek fel. A U.S. Navy alternatív üzemanyaggal működő vadászpilóta nélküli repülőgépet is sikerrel tesztelt, amikor egy F/A-18 Super Hornet típusú vadászgép 50–50%-os kerozin-bioüzemanyag keverékkel repült. Az utóbbi összetevő gomborkából (homoki repce) származik – amely egy, az USA-ban is termő, nem élelmezési célú, de megújuló energiaforrásként tökéletesen alkalmazható növény.

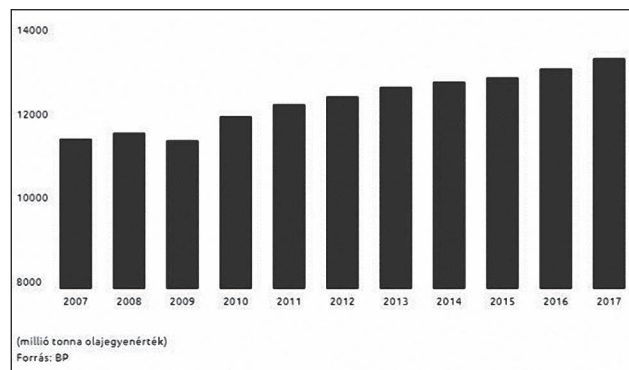
A nyersanyagok táplálkozásra való alkalmatlansága azért hangsúlyos etikai kérdés, mert erősen támadott az olyan termőföldek és terményeik feláldozása üzemanyag-előállításra, ahol étkezési alapanyagként is használható növények termelhetők. Ezt kiküszöbölendő jelentős lépések történtek a bioüzemanyagok nyersanyaga után megmaradó másodlagos források (pl. gallyak, faforgács stb.) felhasználására (erdészetek, fafeldolgozók stb.).

A folyamatos fejlesztések nyomán az ASTM (American Society for Testing and Materials International) nemzetközi szabványügyi szervezet jóváhagyta a „megújuló üzemanyagok” kereskedelmi forgalmazását és katonai repülőgépekben történő alkalmazását. A vonatkozó ASTM D7566 Standard megengedi akár 50%-os „bio eredetű szintetikus tüzelőanyag” keverését a hagyományos kerozinhoz. Ennek eredményeként (is) 2017-ben már működött olyan vállalat (pl. a Southern California-hoz tartozó Altair), amely mintegy 58 millió liter szabványos bioüzemanyag készítését vállalta étkezési célokra hasznosíthatatlan olajokból és mezőgazdasági hulladékból. A Honeywell UOP multinacionális vállalat, az általa kidolgozott pirolízis módszerével a kőolajjal versenyző (45 USD/hordó árú) bioüzemanyag gyártását kezdte meg. A sikeres katonai tapasztalatokat fokozatosan a polgári légitársaságok is adaptálják.

Hasonló kutatások folynak Kínában is, hiszen 2015-ben sikerrel repült az első Boeing 737-es, amelynek hajtóanyagát a China National Aviation Fuel csoport és a Sinopec, Ázsia legnagyobb olajfinomító és petrokémiai vállalata biztosította. A feltöltött tüzelőanyag 50-50%-ban hagyományos kerozinból és úgynevezett „csatornaolajból” készült. (Utóbbi használt, fogyasztásra alkalmatlan étolaj.) Mivel Kínának a következő 20 évben az elképzelések szerint több mint 6000 db új repülőgépre lesz szüksége, ezért komoly alternatívaként tekintenek a bioüzemanyagokra. Többek között azért, mert szakértők szerint a növényekből (például algából, kukoricából), vagy a használt étolajból készített hajtóanyaggal a károsanyag-kibocsátás 50–80%-kal is csökkenthető a tisztán kőolajszármazékokhoz képest.

KÉRDŐJELEK A 2050-IG TARTÓ FEJLŐDÉSÉRŐL

Ahhoz, hogy a repülőgépgyártás és az üzemeltetés 2050-re elérje a környezetvédelmi előírások által időarányosan meghatározott CO₂-kibocsátási szintet, még számos feladat megoldása szükséges a valóban tömegesen alkalmazható alternatív energiák létrehozása és bevezetése terén. Különösen hangsúlyozza ennek fontosságát, hogy a globális energia-felhasználási trend töretlen növekedése mellett (16. ábra), környezetvédelmi megoldást csak a megújuló energiák mielőbbi nagyarányú térhódítása nyújthat.



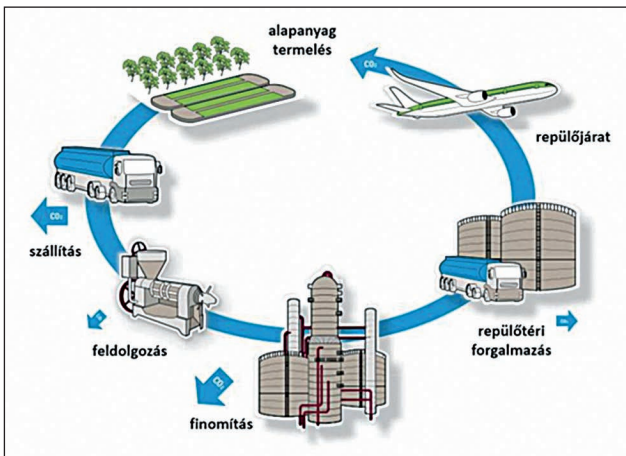
16. ábra. Globális primerenergia-felhasználás (Forrás: BP)

Addig a nagy tömegek gyors, nagy távolságú légi szállítására feltehetően jelentős mennyiségben megmaradnak a gáturbinás hajtóművel működő repülőgépek is. Ez azt jelenti, hogy bár a károsanyag-kibocsátás folyamatos és következetes, nagymérvű csökkentése szükséges – pl. szintetikus és/vagy bioüzemanyag felhasználásával –, de teljes megszüntetése a megújuló energiák elterjedéséig nem lehetséges. Emellett politikai konszenzus is szükséges a repülési „fenntartható üzemanyag”-ainak meghatározásáról, definícióba foglalva a bioüzemanyagok elfogadását is. Ez korántsem egyszerű, mivel több, nem kormányzati környezetvédő szervezet (pl. a Greenpeace) ragaszkodik ahhoz, hogy a növényi alapú bioüzemanyag nem tekinthető „fenntarthatónak”. Szerintük csak azok a tüzelőanyagok sorolhatók ebbe a kategóriába, amelyek nem érintik az élelemhez való jogot.

A legtágabban értelmezett bio-tüzelőanyag alapanyaga lehet állati, vagy növényi eredetű biomassza. Ebbe a kategóriába tartoznak a fenntartható (más néven fejlett bio-tüzelőanyag) és a nem fenntartható forrásból származó nyersanyagok is. Az utóbbit a felhasználók – etikai és gazdasági szempontok miatt – a repülésben kerülnek.

A „fenntartható repülő-tüzelőanyag” (SAF – Sustainable Aviation Fuel) fogalma nemcsak bővebb tartalommal bír, hanem szélesebb körű a nyersanyag forrása is, hiszen az nem csak biológiai eredetű lehet (pl. műanyag csomagolás). Jelenleg önmagában nem (további kutatások-fejlesztések során a jövőben lehetséges), de hagyományos szénhidrogénnel keverve Jet-A1 minőségű, a repülőgépek üzemanyag-rendszerébe azonnal tölthető tüzelőanyag hozható létre belőle. Ahhoz, hogy a SAF kereskedelmi forgalomba kerülhessen, a laboratóriumi, földi és repülési teszteteket is sikerrel kell teljesítenie.

Ugyanakkor mérhető, hogy az alternatív tüzelőanyagokat felhasználó légi járművekből (a SAF-repülőgépekben történő égetés ellenére) nem kerül számottevően kevesebb károsanyag a légkörbe, mint a hagyományos benzin, vagy kerozin alkalmazásakor. Annak teljes életciklusát figyelembe



17. ábra. A SAF szén-dioxid-kibocsátása életciklusa során
(Forrás: <https://aviationbenefits.org/166152>)

véve (17. ábra) – amelynek minden fázisához kapcsolódik károsanyag-kibocsátás – a SAF felhasználásával nyert mérési tapasztalatok azt mutatják, hogy a hagyományos tüzelőanyagokkal összevetve, akár 80%-kal kevesebb szén-dioxid, kén-dioxid és lebegő részecske kerül általuk a környezetbe.

Mindezek szabványosítására jött létre a Fenntartható Repülő-tüzelőanyag Felhasználók Csoportja (Sustainable Aviation Fuel Users Group – SAFUG) nevű szervezet. Tagjai olyan légitársaságok, amelyek elkötelezettek a nemzetközileg elismert alternatív tüzelőanyagok szabványai iránt (pl. RBS), és nagy figyelmet fordítanak a fenntarthatóságra

több területen is. Az SAF-et felhasználva megkövetelik a beszállítóktól, hogy a tüzelőanyaguk rendelkezzen fenntarthatósági bizonyítvánnyal (Certificate of Sustainability – CoS), vagy ennek megfelelő okmányokkal. Szerke a világon több szervezet is kiadhat ilyen dokumentumot, mint például a Nemzetközi Fenntarthatósági és Szén-dioxid Tanúsítványt (International Sustainability and Carbon Certification – ISCC).

Az ICAO becslései szerint 2050-ben mintegy 600 millió tonna repülőgép-üzemanyag szükséges valamennyi repülési igény kielégítéséhez. Ehhez akár 45 exajoule (EJ = 10^{18} J) biomasszát kell felhasználni a szükséges mennyiségű bioüzemanyag előállításához, tekintettel az átalakítási folyamat viszonylag alacsony hatékonyságára. Hogy ez honnan származtatható, a későbbiekben megválaszolendő fajsúlyos kérdés.

(Folytatjuk)

A GINOP 2.3.2-15-2016-00007 „A légitözlekedés-biztonsághoz kapcsolódó interdiszciplináris tudományos potenciál növelése és integrálása a nemzetközi kutatás-fejlesztési hálózatba a Nemzeti Közszolgálati Egyetemen – VOLARE” című projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósul meg.

A tanulmány a fenti projekt „AVIATION_FUEL” nevű kiemelt kutatási területéhez kapcsolódóan valósult meg.



(illusztráció a szerzők gyűjteményéből)

„...s honvéd tisztét teljesíti”

Harminc esztendő a haditechnikai kultúra szolgálatában 1989–2019

A Magyar Hadtudományi Társaság Láhner György Haditechnikai Klub kiadásában napvilágot látott kötet a mártírhálalt halt névadó emlékeztetésre, a klub megalapításának 30. évfordulója alkalmából jelent meg. Az 1989-ben, a rendszerváltás pillanatában létrejött klub alapvetően a haditechnikai és hadiipari szakmai kultúra megőrzését, valamint a haditechnikai szakterület fejlesztését, a szakmai utánpótlás nevelését, valamint az ismeretterjesztést tekinti küldetésének. 1991-ben a Magyar Hadtudományi Társaság önálló szervezeti egységként befogadta a haditechnikai klubot, amelynek tagsága napjainkban is aktív tevékenységet folytat, és nyitott az érdeklődő jelentkezők előtt.

A jubileumi kiadvány elsősorban a 2009–2019 közötti évtized tevékenységét dokumentálja, de helyet kapott benne egy hadtörténelmi tanulmány, egy szakmai visszaemlékezés, egy történelmi-politikai kitekintéssel bővített tudósítás, valamint számos színes fotó a klubélet eseményeiről. A kötet bevezető fejezetét *A Láhner György Haditechnikai Klub céljai és eseménytörténete* címmel prof. dr. Turcsányi Károly, a klub elnöke írta és szerkesztette. Tóth Dominik *Láhner György honvédtábornok, a magyar honvéd haderő felfegyverzője* című tanulmánya a tábornok tevékenységének azon szakaszára fókuszál, amikor megszervezte és koordinálta a magyarországi hadiipari termelést és a honvéd csapatok ellátását. Kunos Bálint, a klub egyik alapítótágya személyesen vett részt a Magyarország NATO-csatlakozását előkészítő munkában, majd a jogszabályok kodifikálásában. Informatív és adatgazdag visszaemlékezését *A magyar NATO tagság 20 éve* címmel írta meg. Varga László a haditechnikai klub által szervezett szakmai programok közül egy észak-magyarországi kirándulást idéz fel *Egy emlékezetes látogatás Regécen* címmel. A könyv önálló fejezetet szentel a szakmai szervezet rendezvényein, emléktúráin készült fotóknak, tartalmazza a klub működési rendjét és a tagok névsorát. A kötet fejezeit a haditechnikai klub elnökének köszöntője és záró gondolatai foglalják keretbe.

A Magyar Haditechnikai Társaság Láhner György Haditechnikai Klub kiadásában, 2020-ban belső terjesztésben megjelentetett kötet cérnafűzött, puhatáblás, számos fotóval illusztrált, terjedelme 76 oldal. (R. A.)

